جغرافیا (فصلنامه علمی ـ پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)
دوره جدید، سال دهم، شماره ۳۴، پاییز ۱۳۹۱

بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه قزل اوزن با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی (محدوده بین ۳۰ کیلومتری شهرستان میانه تا مرز سیاسی استان زنجان)

دکتر محمدحسین رضایی‌مقدم[۱]، دکتر محمدرضا ثروتی[۲] و دکتر صیاد اصغری سراسکانرود[۳]

چکیده

مئاندری شدن یکی از مهمترین مسائل مهندسی رودخانه است که فعالیت‌های بشری را در حاشیه رودخانه‌ها تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، لذا مطالعه این مناطق به منظور کسب شناخت دقیق و بررسی معضلات و مخاطرات احتمالی در جهت حفظ و بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی ضروری است. هدف این تحقیق بررسی کمی خصوصیات و الگوی پیچان‌های مسیر مورد مطالعه رودخانه قزل‌اوزن است که از این طریق بتوان ویژگی‌ها و مشخصات پیچان‌های منطقه مورد مطالعه رو مشخص کرد، برای رسیدن به این هدف با توجه به ابعاد و وسعت منطقه مورد مطالعه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و امکان پردازش اطلاعات با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی لازم و ضروری می‌نمود. بدین جهت از تصاویر ماهواره‌ای +ETM مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، و ۲۰۰۴ و IRS برای سال ۲۰۰۷ استفاده شد. نتایج نشان داد که در طول سه دوره مورد بررسی روند تغییرات رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه کاملا متفاوت است. به طوری که میزان تغییرات در بازه اول در طول سه دوره بسیار زیاد بوده و بازه دوم کمترین میزان تغییرات را در سه دوره داشته است. مقادیر زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی نشان می‌دهد که در کل بازه‌های بررسی شده، تغییرات ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی (به جز نسبت اندک در مناطق کوهستانی) در یک دامنه محدود مشاهد می‌شود که نشان دهنده وجود قوس‌های تقریباً مشابه در طول مسیر رودخانه است و همچنین بر اساس شاخص زاویه مرکزی الگوی پیچان‌رودی رودخانه از نوع توسعه یافته می‌باشد.

کلیدواژگان: رودخانه قزل‌اوزن، پیچان‌رودها، شاخص ضریب خمیدگی، شاخص زاویه مرکزی، سنجش از دور.

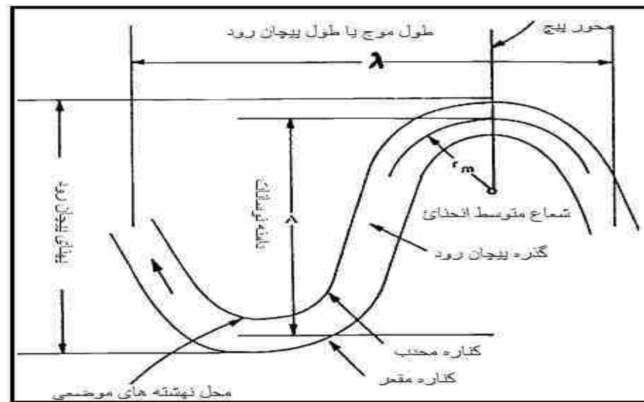
---

۱. استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشکده علوم محیطی و معماری دانشگاه تبریز
۲. دانشیار دانشگاه شهید بهشتی
۳ استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه ارومیه

مقدمه

بررسی الگوی مورفولوژیکی رودخانه‌ها برای درک شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن‌ها در آینده ضروری بوده و تنها از این طریق می‌توان عکس‌العمل طبیعی آن‌ها را نسبت به تغییرات طبیعی و یا اقدامات ناشی از اجرای طرح‌های اصلاح مسیر و تثبیت کناره‌ها پیش‌بینی نمود و میزان جابه‌جایی، تغییرات ابعاد و الگوی آن‌ها را تشخیص داد (چورلی و همکاران، ۱۳۷۹: ۲۱۱). یکی از موضوعات مهم در ژئومورفولوژی توجه به تغییراتی است که در شکل و الگوی کانال‌های جریانی و در طول مسیر آنها به وقوع می‌پیوندد و ممکن است سبب متروک شدن بخشی از دیواره کانال‌ها یا پیوستن بعضی فضاهای متروک کانال‌ها به فضای اصلی شود (یمانی و حسین‌زاده،۱۳۸۳: ۱۴۵ به نقل از تلوری، ۱۳۷۳). رودخانه‌های آبرفتی در مسیر خود به طور عمده پیچ و خمهای بسیاری را شامل می‌شوند، این پیچ و خم‌ها در اکثر مواقع منظم نیستند ولی در قسمت‌هایی به صورت قرینه نیز مشاهده می‌شوند که به اینها پیچان‌رود (مئاندر) اطلاق می‌گردد (ادوارد و اسمیت[۱]، ۲۰۰۱: ۱۲)، واژه مئاندر از رودخانه‌های پر پیچ و خم در جنوب غربی ترکیه به همین نام گرفته شده است (جانسون[۲]، ۱۸:۱۹۷۹). این خمها (پیچان‌ها) در اثر حرکت افقی رودخانه به وجود آمده‌اند و خود باعث تغیرات آتی در مسیر رودخانه می‌شوند. در واقع در این رودخانه‌ها بررسی رفتار و نوع تغیر شکل پیچان‌رودها روشی برای دستیابی به تغیرات آتی در شکل رودخانه خواهد بود. جهت توصیف الگوی آبراهه‌های پیچان‌رود یکسری پارامترهای هندسی مرتبط با پلان رودخانه تعریف شده است (شکل۱) که با تجزیه و تحلیل فراوانی و اندازه این خصوصیات در طول رودخانه و در زمان‌های مختلف روند تغییرات رودخانه در بعد مکان و زمان قابل بررسی خواهد بود این پارامترها مواردی نظیر طول پیچان‌رود، عرض پیچان‌رود، عرض رودخانه و طول گذر رودخانه هستند (بیدنهارد و همکاران[۳]، ۱۲۱:۱۹۹۷و لنکستر و بارز[۴]،۴:۲۰۰۲).

1. Edward and Smith
2. Jansen
3. Biedenharn et al
4. Lancaster. Bars



شکل۱: مشخصات هندسی یک حلقه پیچان‌رود (لئوپولد و ولمن، ۱۹۶۰: ۷۸۴)

جهت شناسایی دقیق الگوهای مجاری رودخانه‌ای لازم است که انواع الگوهای مجاری رودخانه‌ای تشریح گردند؛ الگوهای مجاری رودخانه‌ای در شیوه قدیمی به انواع مستقیم، مئاندری و گیسوی طبقه‌بندی می‌شدند (لئوپولد و ولمن[1]،۱۹۵۷: ۲۱). این طبقه‌بندی در حال حاضر چندان رضایت‌بخش نیست، زیرا طبقات ارائه شده کاملاً منحصر به فرد نبوده و عوامل متعددی جهت تعیین الگوهای متفاوت مجرا باید موردتوجه قرار گیرند. انواع الگوهای مجرا غالباً به کمک وضعیت جدا شدن مجرا در اطراف موانع ماسه‌ای گیسوی و یا موانع ماسه‌ای جزیره‌ای و سینوسته قسمت‌های مختلف مجرا تعیین می‌شود (بریج،۲۸۲:۱۳۸۷). طبقه‌بندی مجاری به انواع مستقیم و پیچان‌رودی (تک‌مجراهایی با سینوسیته متفاوت) و مجاری گیسوی به هم بافته شده (چند مجرایی با سینوسیته متفاوت) است (بریج،۲۷۳:۱۳۷۸). از جمله ویژگیهای مهم یک رودخانه پیچ و خم‌دار، اندازه و قابلیت جابجایی خم‌های آن است. شکل خم‌ها با یکی از حالات منحنی دایره‌ای، پارابولیک و یا سینوسی تعریف می‌شود که حالت دایره‌ای بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (رضائی‌مقدم و خوشدل ۱۰۴:۱۳۸۸) که با ترسیم دوایر مختلف منطبق با مسیر آبراهه‌های پیچ و خم‌دار می‌توان ضریب خمیدگی را تعیین کرد (ماکاسکی و همکاران[2]، ۱۹۵:۲۰۰۹).

پیچان‌ها را می‌توان به شکل سینوسی، منظم یا فشرده، بسیار نامنظم، مچاله شده و حتی دیگر

1. Leopold and Wolman
2. Makaske Bart

اشکال مشاهده نمود. شکل پیچان تابع خصوصیاتی نظیر شیب جریان، عـرض رودخانـه، جـنس مصالح بستر و میزان جریان است(گرگوری[1]،۱۹۷۷:۱۲۴).

تلاش‌های اولیه در جهت توجیه علمی تشکیل پیچان‌ها، مربوط به کارهای علمی هیکن است وی کوشید با استناد به نتایج مطالعات پیگیر خود در زمینه تشکیل چنین پدیده‌ای آستان‌هایی برای تشکیل آن ارائه دهد (شیدگن[2]،۱۹۹۱ص۲۲۹به نقل از هیکن[3]) بعد از وی توجه هیدرولوژیست‌ها و سپس ژئومورفولوژیست‌ها به این پدیده جلب شد و مطالعات زیادی در جهت توجیه علمی آنها صورت گرفت.

نوحه‌گر و یمانی (۱۳۸۲) وضعیت ژئومورفولوژیکی پیچان‌رود و نقش آن را در فرسایش بستر و کناره‌های رودخانه میناب را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که پیچ‌های قوس در طول زمان به آهستگی به سمت پایین رودخانه در حال حرکت است و در نتیجه طول خم‌ها و عرض آنها با افزایش دبی و شیب در اثر آورد رسوب‌های بالادست افزایش یافته است. ارشد و همکاران (۱۳۸۶) تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کارون را مطالعه کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که خصوصیات قوس‌ها در طول رودخانه در حال تغییر است و مقدار عرض قوس‌ها در مناطق مختلف از یک حالت خطی پیروی نکرده بلکه در بخش‌های مختلف کاملاً متغییر می‌باشد. رضائی‌مقدم و خوشدل (۱۳۸۸) در تحقیقی با عنوان بررسی پیچ و خم‌های مئاندر اهر چای در محدوده دشت ازومدل ورزقان، به این نتیجه رسیده‌اند که مئاندرهای منطقه دارای حرکات عرضی و طولی هستند که این حرکات باعث ایجاد تغییرات در مسیر رودخانه شده است. یانگ و همکاران[4] (۱۹۹۹) تحقیقی در زمینه آشکارسازی تغییرات خط ساحلی رودخانه زردچین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام داده و به این نتیجه رسیده‌اند که رودخانه از حالت شریانی مستقیم به مئاندری ضعیف تغییر شکل داده است. برتولدی و بیلی[5] (۲۰۰۲) در بررسی اثر شدت سیل بر مورفولوژی بخشی از رودخانه سیسنا نتیجه‌گیری کرده‌اند که بطور طبیعی سیلاب‌های بزرگ جزوئ مؤثرترین و عمده‌ترین فاکتورهای جابجایی طولی پیچان‌رودها بوده و روی طول موج

---

1. Gergory
2. Scheidggen
3. Hiken
4. Yang,X et.al
5. Bartholdy,j., and Billi, p.

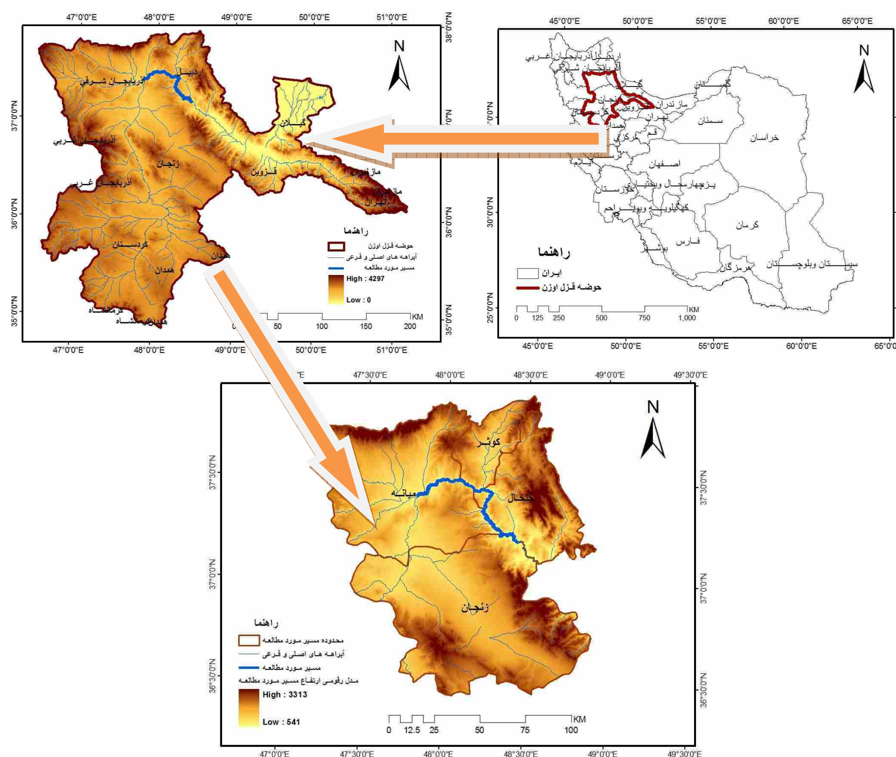
قوس نیز تأثیرگذارند. در مورد سیلاب‌های کوچکتر، اصل بر جابجایی عرضی خم پیچان‌رود بوده و عمده تأثیر بر روی دامنه موج قوس است. سارما[1] (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای، مورفولوژی و فرایندهای رودخانه‌ای رودخانه براهماپترا در هند نتیجه گرفتند که مورفولوژی رودخانه؛ پیچانی شدن، مستقیم شدن و حالت قیطانی بستر را تعیین می‌کند. زامولی و همکاران[2] (۲۰۱۰) نقش نئوتکتونیک را در کنترل سینوزیتی رودخانه و الگوی مجرا در حاشیه غربی دشت‌هانگبرین مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که شاخص سینوزیته ابزار بسیار حساسی برای نشان دادن فعالیت‌های نئوتکتونیک است.

ابن تحقیق سعی می‌کند با شناسایی و بررسی کمی خصوصیات و ویژگیها پیچان‌های رودخانه قزل اوزن الگوی رودخانه را در بخش‌های مختلف رودخانه تعیین کرده و توسعه پیچان‌رودهای منطقه را با توجه به مورفولوژی منطقه مورد بررسی قرار دهد.

منطقه مورد مطالعه

سرچشمه رودخانه قزل اوزن از ارتفاعات چهل چشمه کردستان بوده و با طولی بالغ بر ۵۵۰ کیلومتر پس از عبور از استان‌های زنجان، آذربایجان شرقی و اردبیل ضمن دریافت شاخه‌های متعدد در طول مسیر خود در استان گیلان با رودخانه شاهرود تلاقی و وارد مخزن سد سفیدرود می‌گردد. وسعت حوضه آبخیز آن نزدیک به ۴۹۴۰۰ کیلومترمربع است (عبدی،۱۳۸۵ص ۹) محدوده مطالعاتی بین طولهای جغرافیای َ۴۸ °۴۷ تا َ۲۷°۴۸ و عرض‌های جغرافیایی َ۱۲ °۳۷ تا َ۲۵ °۳۷ قرار دارد.

1. Sarma.J.N
2. Zámolyi A. B. Székely , E. Draganits , G. Timár



شکل۲: نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این تحقیق جهت بررسی الگوی هندسی مسیر رودخانه قزل اوزن در سه دوره از تصاویر ماهواره‌ای +ETM سال ۲۰۰۰، +ETM سال ۲۰۰۴ و تصویر سنجنده Pan ماهواره IRS سال ۲۰۰۷ استفاده شده است. قدرت تفکیک هندسی تصویر سنجنده Pan ماهواره IRS ۲/۵ متر است و قدرت تفکیک رادیومتریک تصویر IRS-P5 معادل۱۰ بیت است که برای شناسایی الگوی رودخانه مناسب می‌باشد (هاشمیان و همکاران، ۲:۱۳۹۰). ولی اندازه سلول‌های تصاویر لندست ۳۰ متر بوده و در حوضه قزل اوزن عرض رودخانه مورد مطالعه بیش از ۶۰ متر است. در نتیجه از آنجایی که در تحقیق‌های دیگری که رودخانه دارای شرایط مشابهی بوده از تصاویر

لندست استفاده شده است (یانگ و همکاران[۱]، ۱۹۹۹:۱۴۷؛ ماتی کومو و همکاران[۲]، ۲۰۰۸: ۱۰۴)، بنابراین در استفاده از تصویر فوق نیز مشکلی وجود ندارد. جهت آماده‌سازی تصاویر برای تعبیر، تفسیر و کاهش خطاها، عملیات پیش پردازش بر روی تصاویر انجام گرفت. پیش پردازش‌های اعمال شده شامل تصحیحات رادیو متریک، هندسی و ژئورفرنس نمودن تصاویر است. تصحیح هندسی تصویر و زمین مرجع کردن آن بر اساس نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ و حدود ۳۰ نقطه کنترل زمینی مشابه صورت گرفت تصحیح هندسی فوق‌الذکر با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه[۳] انجام شده و تمام تصاویر در سیستم مختصات UTM و زون ۳۹ تنظیم شد. در مرحله بعدی برای استخراج خطوط ساحلی از تصاویر محدوده طیف مرئی استفاده شد. همچنین برای استخراج محل برخورد آب و خشکی از یک باند منفرد نیز استفاده شد. چرا که ویژگی انعکاسی آب در باند مادون قرمز انعکاسی تقریباً صفر است و انعکاس پوشش زمین در این محدوده خیلی بیشتر از آب است (وینارسو و بودهیمن[۴]،۲۰۰۱:۲۴، رسولی، ۱۳۸۷: ۵۲۱). بررسی هیستوگرام آستانه انعکاس آب در باندهای مادون قرمز تصویر +ETM نشان داد که از ۸ باند انعکاسی +ETM باند ۵ مادون قرمز میانی با قدرت تفکیک ۳۰ متر برای استخراج خط برخورد خشکی و آب مناسب‌تر است. با تفسیر بصری تصاویر مربوطه مشخص شد که مغایرت و اختلاف شدیدی بین محدوده آب و اطراف آن وجود دارد. این عمل به علت میزان زیاد جذب انژی مادون قرمز میانی به وسیله آب و انعکاس شدید مادون قرمز میانی به وسیلهٔ سایر پوشش‌های زمین (گیاه، نمک و مناطق لم یزرع) در این محدوده است (رسولی، ۲۰۰۷ و رسولی، ۱۳۸۷، :۵۲۳). همینطور با اعمال شاخص WI بر اساس رابطه ۱ که تمام باندهای مرئی بر باندهای نامرئی تقسیم می‌شوند مشخص گردید که این شاخص بر روی تصاویر +ETM به دلیل نسبت بالای سیگنال‌ها فاقد کیفیت مطلوب بود.

رابطه ۱ (رسولی، ۱۳۸۷ : ۶۳۶).

$$WI\ TM.ETM^{+} = B1+B2+B3/ B4+B5+B7$$

برای استخراج سطوح آبی از تصاویر سنجنده +ETM تکنیک‌های ترکیب رنگی تصاویر (RBG:

1. Yang et al
2. Matti kummu et al
3. Neighborhood Nearest
4.Winarso and Budhiman

باندهای ۲-۴-۷) استفاده شد. که از بین روش‌های ذکر شده ترکیب رنگی تصاویر (RBG) برای استفاده بهتر جواب داد.

جهت استخراج مسیر رودخانه از تصویر IRS از سنجنده Pan این ماهواره استفاده شد که مسیر رودخانه در این سنجنده بخوبی قابل تشخیص و ترسیم است.

پس از پردازش تصاویر فایل رقومی حاصل به محیط ARC GIS وارد و خط بستر و ساحل رودخانه به صورت لایه‌های رقومی مستقل استخراج شد. در ادامه به دلیل طولانی بودن مسیر، منطقه مورد مطالعه به سه بازه تقسیم گردید. در مرحله بعد اقدام به شناسایی پیچان‌رودهای موجود شد. سپس نقاط عطف یا نقاط تغییر انحنای محور رودخانه برای هر سه بازه با دقت زیاد مشخص گردید. برای هر یک از قوس‌های رودخانه دوایری برازش شد که بیشترین و بهترین تطابق را با قوس داشته باشد و در ادامه مشخصات هندسی پیچان‌رودها از قبیل طول موج، طول قوس، شعاع انحنائ و دامنه نوسان در محیط نرم افزار ARC GIS با استفاده از توابع موجود استخراج گردید. سپس با استفاده از رابطه ۲ اندازه ضریب خمیدگی برای هر قوس محاسبه شد.

رابطه[1] ۲

$$S = \frac{L}{\lambda / 2}$$

در ادامه زاویه مرکزی قوس‌های زده شده بر روی هر کدام از بازه‌ها با استقاده از رابطه ۳ محاسیه گردید

رابطه[2] ۳

$$A = \frac{180L}{R\pi}$$

در نهایت میزان توسعه پیچان‌رودی به وسیله جدول شماره ۱ کورنیس (۱۹۸۰) مشخص گردید (تلوری،۱۳۷۱).

---

۱. S ضریب خمیدگی ، L طول قوس ، $\lambda / 2$ نصف طول موج

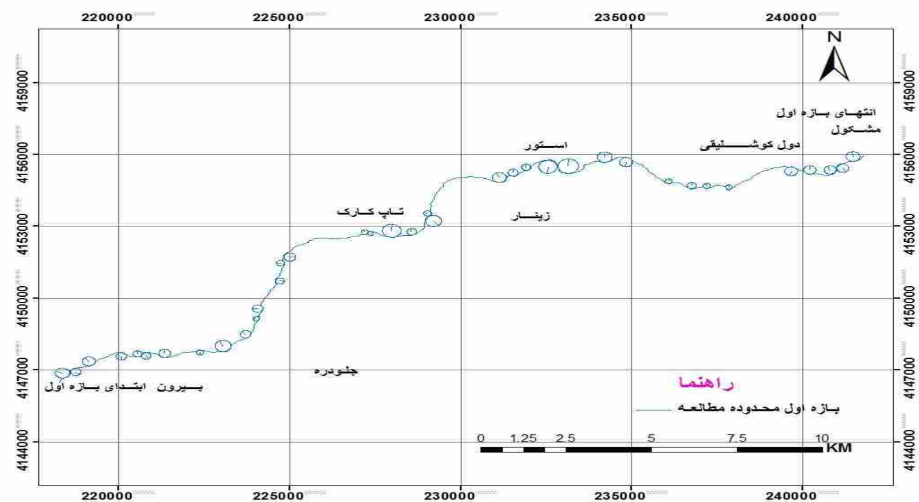
۲. A زاویه مرکزی، R شعاع دایره برازش داده شده

جدول ۱: میزان توسعه پیچان‌رودی به کمک زاویه مرکزی کورنیاس (۱۹۸۰)

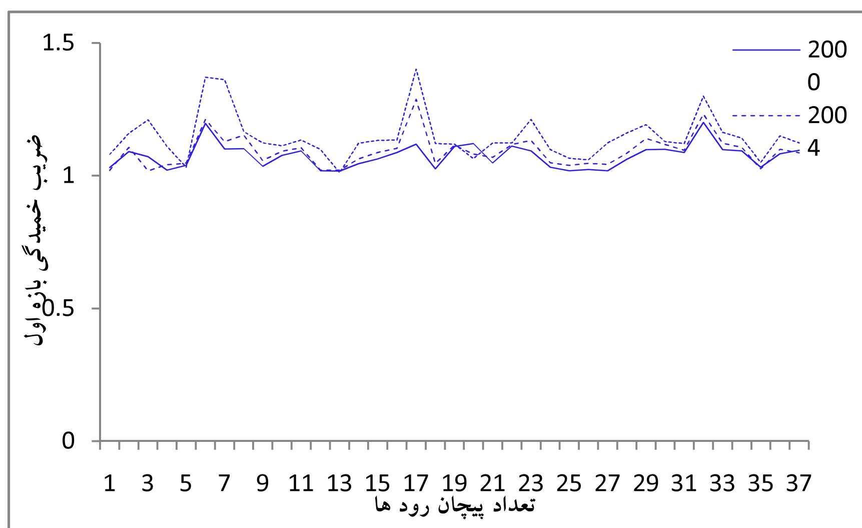
شکل رودخانه	زاویه مرکزی (درجه)
رودخانه شبه پیچان‌رود	۴۱>
رودخانه پیچان‌رود توسعه نیافته	۴۱–۸۵
رودخانه پیچان‌رود توسعه یافته	۸۵–۱۵۸
رودخانه بیش از حد توسعه یافته	۱۵۸–۲۹۶
رودخانه نعل اسبی	بیش از ۲۹۶

یافته‌های تحقیق

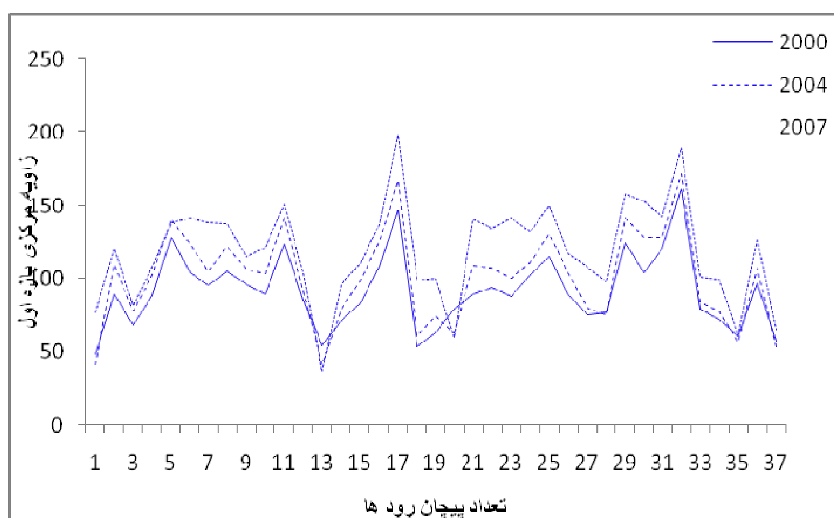
در این مطالعه بدلیل طولانی بودن محدوده مورد مطالعه و جهت تفکیک بازه کوهستانی از بازه دشتی، محدوده به سه بازه تقسیم‌بندی گردید. بازه اول محدوده بین روستای بیرون (۳۰ کیلومتری شهرستان میانه) تا مشکول را شامل می‌شود این محدوده بازه دشتی بوده و بر روی این بازه ۳۷ حلقه پیچانرود با دوایر برازش داده شد (شکل ۳).



شکل۳: بازه اول محدوده مورد مطالعه با دوایر برازش شده بر پیچان‌رودها

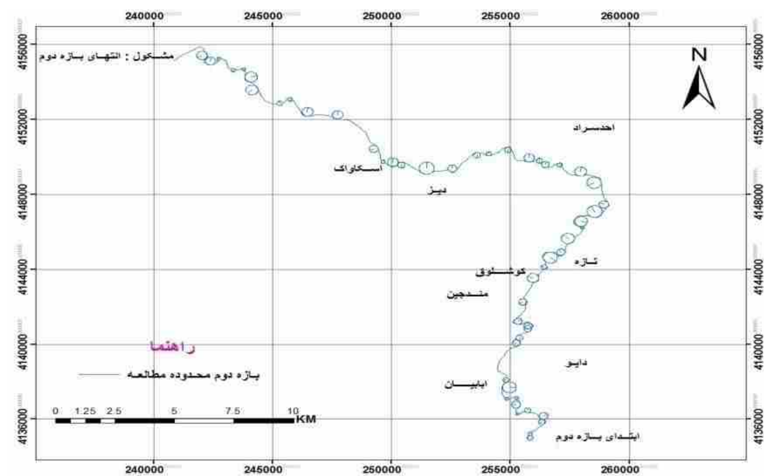


شکل۴: مقادیر ضریب خمیدگی پیچان‌های بازه اول

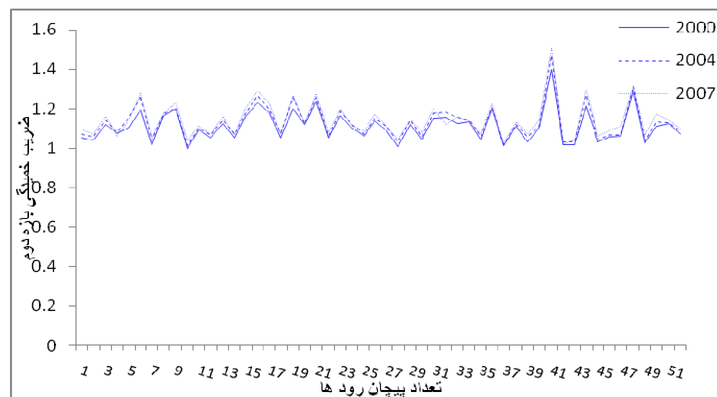


شکل۵: مقادیر زاویه مرکزی پیچان‌های بازه اول

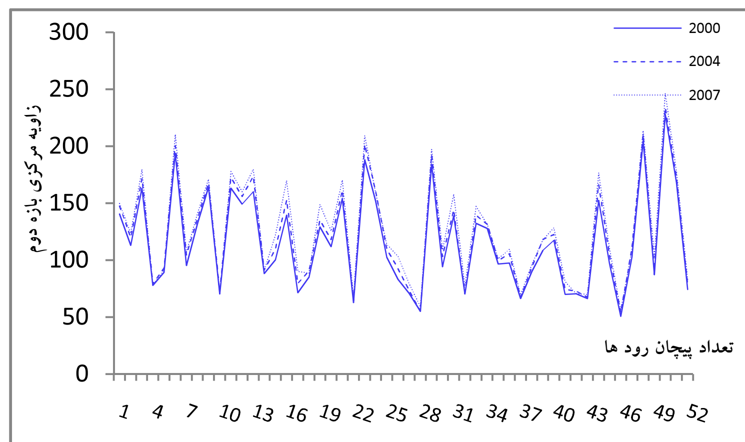
بازه دوم محدوده بین مشکول تا روستای ابابیان را در بر می‌گیرد قسمت عمده این بازه بیش از ۸۰ درصد بازه در منطقه کوهستانی است روی این بازه۵۲ حلقه پیچانرود با دوایر برازش داده شد (شکل شماره۶).



شکل۶: بازه دوم محدوده مورد مطالعه با دوایر برازش شده بر پیچان‌رودها

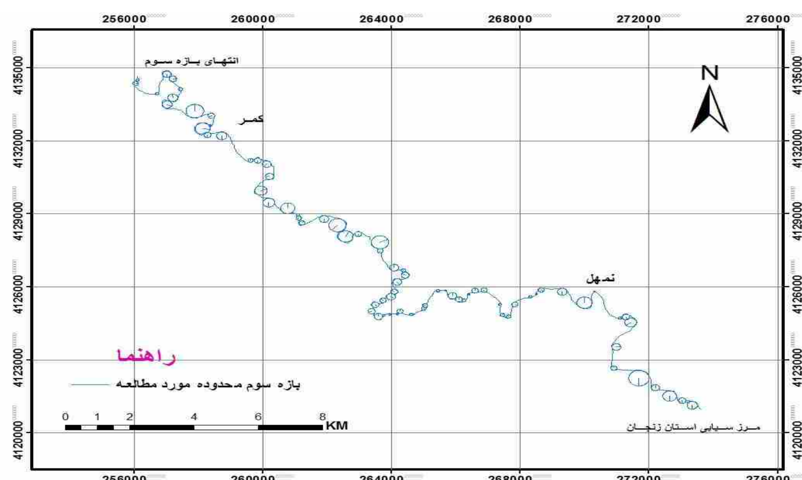


شکل۷: مقادیر ضریب خمیدگی پیچان‌های بازه دوم

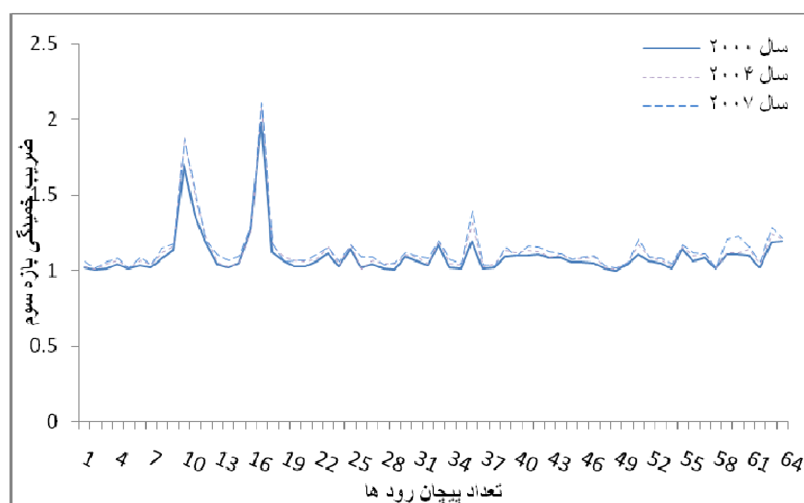


شکل۸: مقادیر زاویه مرکزی پیچان‌های بازه دوم

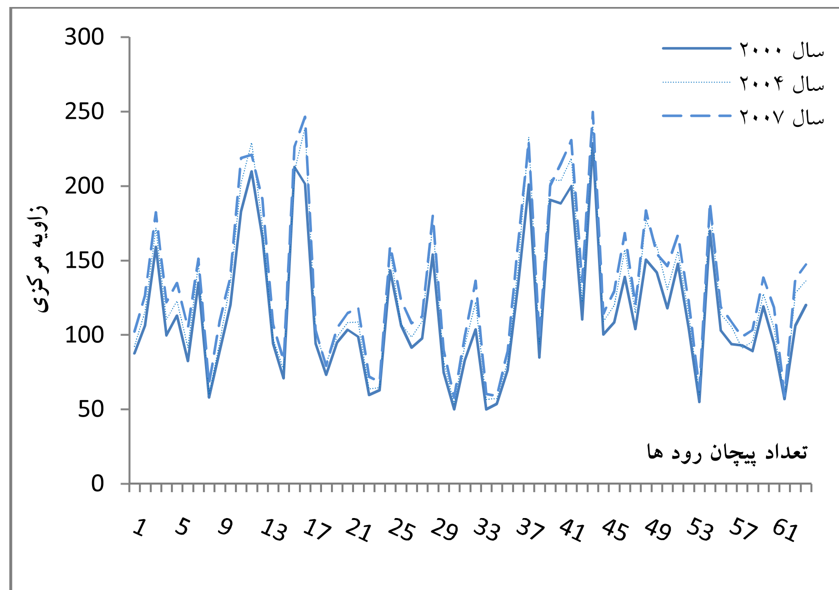
بازه سوم نیز محدوده بین روستای کمر تا ابتدای مرز سیاسی استان زنجان را شامل می‌شود این بازه بطور کامل در داخل محدوده کوهستانی است. روی این بازه ۶۴ حلقه پیچانرود با دوایر برازش داده شد (شکل ۹).



شکل ۹: بازه سوم محدوده مورد مطالعه با دوایر برازش شده بر پیچان‌رودها



شکل۱۰: مقادیر ضریب خمیدگی پیچان‌های بازه سوم



شکل۱۱: مقادیر زاویه مرکزی پیچان‌های بازه سوم

بررسی شاخص‌های مطالعه شده نشان می‌دهد که متوسط طول موج در بازه اول بیشتر از بازه دوم و سوم است که بدلیل مهاجرت حلقه‌های پیچان‌رودها و قدرت جابجایی زیاد بستر رودخانه در آبرفت و بستر سست تر نسبت به مناطق کوهستانی (بازه دوم و سوم) می‌باشد. همچنین متوسط شعاع حلقه‌های پیچان‌رود در بازه اول نسبت به بازه دوم و سوم بسیار بیشتر بوده و کاملا محسوس است که این امر به دلیل فرسایش‌پذیری کناره رودخانه که غالباً آبرفتی بوده است و سبب توسعه شعاعی حلقه‌های پیچان‌رود می‌گردد.

پارامترهای زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی نشان می‌دهد که رودخانه قزل اوزن در بازه‌های سه گانه رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهد، ضریب خمیدگی مبین میزان توسعه پیچان‌رودی در مسیر است (بیدنهارد و همکاران،۱۹۹۷). بررسی اشکال (۴، ۵، ۷، ۸، ۱۰و ۱۱) و جدول ۲ و ۳ مربوط به زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ نشان می‌دهد که مقادیر متوسط زاویه مرکزی (A) و ضریب خمیدگی(S) در بازه کوهستانی (بازه ۲ و ۳) نسبت به بازه دشتی(بازه۱) بیشتر است. این نکته بیانگر این است که مسیر رودخانه در منطقه کوهستانی پیچ و خم‌دارتر است. در بازه اول، رودخانه بر روی بستر عریض جریان دارد و رسوب‌گذاری زیاد سبب گردیده تا جزایر رسوبی بر روی بستر پیچان‌رودی به وجود آید و

رودخانه در فصول کم آبی بدلیل عرض بسیار زیاد این بازه به شکل شریانی درآید. در واقع رودخانه در بازه‌های کوهستانی، در یک مسیر پیچ و خم‌دارتر جریان یافته است که به دلیل مقاومت تشکیلات زمین‌شناسی کناره رودخانه و عرض کم منتج از این عامل، است. در مناطق کوهستانی همراه با رسوبات مقاوم، مسائل تکتونیکی عامل اصلی پیچ و خم‌دار شدن مسیر رودخانه می‌گردد. با توجه به اندازه‌گیری‌های به عمل آمده در بازه‌های مورد مطالعه، تغییرات ضریب خمیدگی در بازه اول محدود است که نشان‌دهندهٔ وجود قوس‌های تقریباً مشابه در طول مسیر رودخانه است این در حالی است که ضریب مذکور در بازه سوم بیشتر است. دامنه تغییرات زاویه مرکزی نیز در بازه‌های به ترتیب ۳ و ۲ بیشتر از بازه اول بوده و نتایج منتج از دامنه تغییرات ضریب خمیدگی را شامل می‌شود.

روند تغییرات ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی (جداول ۲و ۳) در طول سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که بازه اول در طول دوره مطالعه بیشترین میزان تغییرات را داشته است تغییرات قوس‌های مطالعه شده در این بازه کاملاً به صورت مشهود می‌باشد، در بازه دوم میزان تغییرات بسیار کم است. به این دلیل که این بازه یک بازه کاملاً کوهستانی و بازه سوم یک بازه نیمه کوهستانی است. تغییرات این بازه نسبت به بازه اول کمتر بوده و نسبت به بازه دوم بیشتر است.

جدول۲: نتایج ضریب خمیدگی قوس‌های بازه‌های ۳،۲،۱ محدوده مورد مطالعه رودخانه قزل اوزن در سال‌های مورد مطالعه

مسیر مطالعاتی		میانگین S(متر)	S_{Min}(متر)	S_{Max} (متر)	دامنه تغییرات (متر)	S > ۲%	٪ S> ۱/۵	٪۱/۵S<
بازه اول	۲۰۰۰	۱/۰۵	۱/۰۱۷	۱/۲	۰/۲	۰	۰	۱۰۰
	۲۰۰۴	۱/۰۹	۱/۰۲	۱/۲۹	۰/۲۷	۰	۰	۱۰۰
	۲۰۰۷	۱/۱۴	۱/۰۱۱	۱/۴	۰/۳۸	۰	۰	۱۰۰
بازه دوم	۲۰۰۰	۱/۱۱	۱/۰۰۲	۱/۳۹	۰/۳۸	۰	۰	۱۰۰
	۲۰۰۴	۱/۱۳	۱/۰۲	۱/۴۷	۰/۴۵	۰	۰	۱۰۰
	۲۰۰۷	۱/۱۴	۱/۰۲	۱/۵۱	۰/۴۹	۰	۱/۹۲	۹۸
بازه سوم	۲۰۰۰	۱/۱۰	۱/۰۰	۱/۹۸	۰/۹۸	۰	۱/۵۶	۹۸/۵
	۲۰۰۴	۱/۱۲	۱/۰۱	۲/۰۹	۱/۰۸	۱/۵۶	۳/۱۲	۹۵/۳۲
	۲۰۰۷	۱/۱۴	۱/۰۲	۲/۱۱	۰/۹۷	۱/۵۶	۴/۶۸	۹۳/۷

مطابق جدول ۳ بیشترین فراوانی پیچان‌رودهای توسعه یافته در هر سه دوره مورد بررسی در بازه اول مشاهده می‌گردد و این میزان در سال ۲۰۰۷ حدود ۷۸/۳۹ درصد می‌باشد توسعه‌یافتگی پیچان‌های بازه اول در سه دوره بصورت افزایش میزان پیچان‌رودهای توسعه یافته است و بقیه اشکال توسعه‌یافتگی در این بازه در طول سال‌های مورد بررسی کاهش می‌یابد. در بازه سوم بیشترین شکل توسعه‌یافتگی بصورت پیچان‌های توسعه‌یافته است و تغییرات اشکال توسعه‌یافتگی پیچان‌ها در نسبت کمی‌دیده می‌شود. در نهایت، در بازه دوم حدود ۵۰ درصد پیچانها به شکل توسعه‌یافته دیده می‌شوند و میزان تغییرات بسیار اندک است.

قطع‌شدگی از مهمترین خصوصیات رودخانه‌های پیچان‌رودی می‌باشد (سلبی[1]،۱۹۸۳: ۲۷۶) در محدوده مورد مطالعه به علت پر شدن آثار قطع‌شدگی بوسیله مواد سیلابی، و همچنین اجرای طرحهای ساماندهی سواحل رودخانه آثار قطع‌شدگی را از بین برده است بر همین اساس رودخانه نعل اسبی در هیچکدام از بازه‌ها مشاهده نشده است.

جدول۳: درجه توسعه‌یافتگی پیچان‌رودهای هر یک از بازه‌های مورد مطالعه در سال‌های مورد مطالعه

درصد فراوانی	بازه اول			بازه دوم			بازه سوم		
شکل رودخانه	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۷	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۷	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۷
رودخانه شبه پیچان‌رود	۰	۲/۷	۲/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰
رودخانه پیچان‌رود توسعه‌نیافته	۳۲/۴۳	۳۲/۴	۱۳/۵۱	۲۸/۸۴	۲۵	۲۳/۰۷	۲۳/۴۳	۱۸/۷۵	۱۵/۶۲
رودخانه پیچان‌رود توسعه‌یافته	۵۹/۴۵	۵۹/۵	۷۸/۳۹	۵۱/۹۲	۵۰	۴۸/۰۷	۵۷/۸۱	۵۷/۸۱	۵۴/۷
رودخانه بیش از حد توسعه‌یافته	۸/۱۲	۵/۴	۵/۴	۱۹/۳	۲۵	۲۸/۸۴	۱۸/۷۵	۲۳/۴۴	۲۹/۶۸

1. Selby

نتیجه‌گیری

با بررسی پارامترهای ذکر شده در این تحقیق می‌توان گفت که محدوده مورد مطالعه رودخانه قزل‌اوزن یک رودخانه پیچان‌رود توسعه‌یافته است. نتیجه این تحقیق نشان داد که عامل فرسایش کناری در مناطق دشتی علت پیچ و خم دار شدن مسیر رودخانه، بدلیل وجود رسوبات سست و فرسایش‌پذیر است در حالی که در مناطق کوهستانی مسیر رودخانه حاصل از روند گسلها و شکافهای که از قبل وجود داشته است می‌باشد و به بهترین وجه ممکن در اثر فرایندهای فرسایش تعریض و تعمیق حاصل نموده‌اند، به عبارت دیگر در مناطق کوهستانی عامل فرسایش کناری در درجه دوم اهمیت قرار دارد.

یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که در طول سه دوره مورد بررسی روند تغییرات رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه کاملاً متفاوت است، به‌طوری که میزان تغییرات ایجاد شده در بازه اول در طول سه دوره بسیار زیاد بوده و بازه دوم کمترین میزان تغییرات را در سه دوره داشته است.

مقادیر زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی نشان می‌دهد که در کل بازه‌های بررسی شده، تغییرات ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی (به جز نسبت اندک در مناطق کوهستانی) در یک دامنه محدود مشاهد می‌شود که نشان دهنده وجود قوس‌های تقریبا مشابه در طول مسیر رودخانه است و این مطلب نشان دهنده این است که رودخانه‌های مئاندری در مقیاس هندسه فراکتالی به طور کاملاً واضحی خود متشابه‌اند، به عبارتی در این رودخانه‌ها ضریب خمیدگی در مسیرهای منحنی طویل‌تر مجرا کمتر از سینوسیته مسیرهای منحنی و کوتاهتر است (بریج،۱۳۷۸:۲۹۵).

با توجه به این که سازندهای فرسایش‌پذیر بخش بسیار زیادی از بازه اول را تشکیل می‌دهند و با علم به این که رودخانه‌های شریانی عمدتاً وضعیت پایدار و ثابتی ندارند و جهت جریان و موقعیت جزایر رسوبی و عرض رودخانه‌ها دائماً در معرض تغییر و تحول است، می‌توان پیش‌بینی نمود که تغییرات احتمالی صورت گرفته در آینده در بازه شریانی خواهد بود و با توجه به این که این محدوده عمدتاً زمین‌های کشاورزی بوده هر گونه تغییر در مؤلفه‌های ریخت‌شناسی محدوده باعث به هم خوردن تعادل دینامیکی گشته و عکس‌العمل مورفودینامیک محیط به صورت تعرض آب بر زمین‌های کشاورزی اطراف سواحل رودخانه و فرسایش بسیار شدید خواهد بود. بنابراین لازم است که هر گونه اقدامات ساماندهی در محدوده مورد نظر با توجه به متغیرهای مورفولوژیکی منطقه صورت بگیرد.

منابع

۱. ارشد، صالح، مرید، سعید، میرابولقاسمی،هادی (۱۳۸۳)، بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: رودخانه کارون از گتوند تا فارسیاب ۸۲-۱۳۶۹)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد۱۴، شماره ۶، صص ۱۸۰-۱۹؛

۲. بریج، جان، اس (۱۳۸۷)، رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی، ترجمه محمدحسین رضایی مقدم و مهدی ثقفی، انتشارات سمت، ۴۷۳ صفحه؛

۳. تلوری، عبدالرسول (۱۳۷۱)، شناخت فرسایش کناری رودخانه‌ها در دشت‌های سیلابی، انتشارات موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، معاونت آموزش و تحقیقات وزارت جهاد سازندگی، ۱۳۹ صفحه؛

۴. چورلی، ریچاردجی، استانلی، شوم، دیویدای، سودن (۱۳۷۹)، ژئومورفولوژی فرآیندهای دامنه ای، آبرهه ای، ساحلی و بادی،(ترجمه) احمد معتمد، انتشارات سمت، ۴۵۵صفحه.

۵. رسولی، علی اکبر(۱۳۸۷) مبانی سنجش از دور کاربردی با تاکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتشارات ئانشگاه تبریز، چاپ اول، ۷۸۰ صفحه.

۶. رضائی مقدم، محمد حسین. خوشدل، کاظم(۱۳۸۸) بررسی پیچ و خم‌های مئاندر اهر چای در محدوده دشت ازومدل ورزقان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیستم، شماره ۱ صص ۱۰۱-۱۱۲؛

۷. عبدی، پ (۱۳۸۵)، ارزیابی عملکرد آبشکن‌های احداثی بر روی رودخانه‌ها در استان زنجان، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. ص ۹؛

۸. نوحه‌گر، احمد و یمانی، مجتبی (۱۳۸۲)، بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی پیچان‌رود و نقش آن در فرسایش بستر و کناره‌های رودخانه میناب (پایین‌دست میناب) پژوهش‌های جغرافیائی، شماره ۵۱، صص ۶۵-۸۵؛

۹. هاشمیان، محبوبه، ربیعی، بهاره و مومنی، احسان (۱۳۹۰)، مقایسه تصاویر ماهواره‌ای IRS-5 و ALOS-Prism به منظور بازنگری نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰، همایش ملی ژئوماتیک، اردیبهشت ۱۳۹۰ صص۱۰-۱؛

۱۰. یمانی، مجتبی و حسین‌زاده، مهدی (۱۳۸۳)، بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال

نوزدهم، شماره ۲،صص ۱۴۴-۱۵۴؛

11. Bartholdy,j., and Billi, p., (2002) Morph dynamics of a pseudo meandering gravel bar reach. Geomorphology. Vol 42 . Pp 293-310;
12. Biedenharn D.S., Elliot, C.M. and Watson, C.C (1997). The WES stream investigation and stream bank stabilization handbook. US. Army Engineering. P 286;
13. Edwards, B. F, D. H. Smith (2001), River meandering dynamics. National Energy Laboratory, Morgantown, West Virginia, USA;
14. .Gregory, K.J(1977) River channel changes. John Willey & Sons. Pp212.
15. Jansen.P (1979) Principles of river engineering , Pitman, London;
16. Lancaster, S. T., R. L. Bars (2002) A simple model of river meandering and its comparison to natural channels. Journal of Hydrol. Process No (16). Pp1-26;
17. Leopold, L.B., and Wolman, M.G.(1957) River channel patterns- braided, meandering and straight. U.S. Geological Survey. Professional Paper;
18. Makaske Bart, Derald G. Smith, Henk J.A. Berendsen, Arjan G. de Boer, Marinka F. van Nielen-Kiezebrink, Tracey Locking (2009) Hydraulic and sedimentary processes causing anastomosing morphology of the upper Columbia River, British Columbia, Canada, Geomorphology Vol:111 Pp194–205;
19. Matti kummu, X.X.Lu., Akchousand Rasphone, Juha Sarkkula, Jormakoponen, (2008), "Riverbank Change along the Mekong River: Remote Sensing Detection in the Vientiance-Nong Khai Area", Quaternary International, (186), 100-112;
20. Rasouli, A.A. (2007), Modeling of Urmia Lake coastal change by Appling an integrated RS/GIS approach. GIS for the coastal zone; a selection of papers from Coast GIS 2006, University of Wollongong:13-16 July 2006, Australia;
21. Sarma.J.N (2005) fluvial process and morphology of the Brahaputra River in Assam, India. Geomorphology, Vol: 70(3-4) Pp 226-256;
22. Scheidggen, M (1991) Theoretical geomorphology. Springer;
23. Selby. M. J, (1983) Earth changing surface. Oxford University Publication.
24. Winarso, G.M. and Budhiman, S. (2001), The potential application of remote sensing data for coastal study, 22 nd Asian Conference on remote sensing , 5-9 November 2001, Singapore. Pp21-31;
25. Yang, Xiaojun, , Michiel C. J. Damenb and Robert A. van Zuidam ,(1999), "satellite remote sensing and geographic information system for Michiel C. J. Damen and monitoring morphodynamic of the active yellow river delta, China". Applied Earth Observation and Geoinformation,Vol 1. pp 146-157;
26. Zámolyi A. B. Székely , E. Draganits , G. Timár(2010) Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain, Geomorphology 122,(3-4) pp231-243.